Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 3, Fall 2024, p. 551-562

Investigating the Use of Mycorrhiza and Trichoderma Fungi on Rhizome Yield and Active Ingredients of Ginger

F. Rezvaninia[1], M.T. Ebadi[1*], N. Safaie[2]

1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mt.ebadi@modares.ac.ir)
2- Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 07-12-2023
Revised: 19-04-2024
Accepted: 20-04-2024
Available Online: 20-04-2024

How to cite this article:
Rezvaninia, F., Ebadi, M.T., & Safaie, N. (2023). Investigating the use of mycorrhiza and Trichoderma fungi on rhizome yield and active ingredients of ginger. *Journal of Horticultural Science, 38*(3), 551-562. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85675.1308

Introduction

Ginger (*Zingiber officinale*) is a perennial and monocotyledonous medicinal and spice plant, whose rhizome, essential oil and extract are of interest, and this plant has wide uses in various industries. The origin of ginger is Southeast Asia and possibly India. This plant is mainly cultivated as an annual and the rhizome or the underground stem is the used part. It should be noted that the use of biological fertilizers can improve the growth and yield of plants and is also the most natural and best way to keep soil systems healthy. In addition, benefiting from natural solutions instead of using chemicals reduces pollution and destruction of biological resources. The use of Arbuscular mycorrhizal and Trichoderma fungi can leads to a reduction in the consumption of fertilizers and fungicides and an increase in yield, and also reduces production costs and is compatible with environmental principles. Therefore, the main purpose of this study was to investigate the effects of *Trichoderma harizanum*, mycorrhiza (*Glomus etunicatum* and *G. fasciculatum*) and the combined treatment of fungi (*G. etunicatum* + *T. harizanum*, *G. fasciculitum* + *T. harizanum*) on the growth parameters, rhizome yield and active substances of ginger.

Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment based on a completely random design in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University. The rhizomes were transferred to the greenhouse and cultivated in pots with amended soil. These plants were inoculated with Trichoderma (*T. harizanum*), Mycorrhiza (*G. etunicatum* and *G. fasciculatum*) and combined treatment of fungi (*G. etunicatum* + *T. harizanum*, *G. fasciculatum* + *T. harizanum*). During the growing season and harvesting, the morphological characteristics and rhizomes yield were evaluated, and then the essential oil content and composition, the amount of fiber and the color of the rhizomes and precisely. The effect of treatments on ginger stem traits contains: Stem Fresh Weight (g), Stem Dry Weight (g), Number of Stems and Stem Length (cm), Leaf Traits contains: Leaf Dry Weight (g), Leaf Fresh Weight (g), Number of Leafs, Greenness Index, Rhizome Traits contains: Rhizome Dry Weight (g), Rhizome Fresh Weight (g), Darkness/Lightnees Indicator, Yellow/Blue Indicator, Rhizome Crude Fiber (%), Essential oil Traits contains: Essential oil Percentage, Essential oil Yield were investigated. Abbreviation of treatments include contains: Control, M1 (*G. fasciculatum*), M2 (*G. etunicatum*), T1 (*T. harizanum*), M1T1 (*G. fasciculitum* + *T. harizanum*) and M2T1 (*G. etunicatum* + *T. harizanum*).

Results and Discussion

The results showed that the inoculation with *G. etunicatum* had the highest value of stem length (35.68 cm), fresh and dry weight of the stem (22 and 10.2 g), Spad index (18.17), fresh and dry weight of leaves (34.46 and 8.96 g), number of leaves (9.46) and fiber content of rhizome (4.28%). Also, the highest number of stems,

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85675.1308

darkness/brightness index and yellow/blue color index of rhizome were observed in the control treatment with values of 7.16, 73.29 and 98.6 respectively. The highest fresh and dry weight of rhizome (35.5 and 5.2 g) were observed in the inoculation with *G. fasciculitum* treatment and the highest percentage of essential oil (0.4) was observed under the combined treatment of the inoculation with *G. etunicatum*. Camphene, 1,8-cineole, neral and geranial were identified as the main compounds of essential oil and the amounts of these compounds in the inoculation treatment with fungi were more than the control. In general, this research showed that the inoculation of rhizomes with *G. etunicatum* resulted in achieving the desired growth characteristics, rhizome yield and active substances in ginger. Camphene, 1,8-cineole, neral and geranial were identified as the main compounds of essential oil and the amounts of these compounds in the inoculation treatment with fungi were more than the control.

Conclusion

In general, this research showed that the inoculation of rhizomes with *G. etunicatum* resulted in achieving the desired growth characteristics, rhizome yield and active substances in ginger.

Keywords: Biofertilizer, Essential oil, Quality, Spice plant

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص. ۵۵۱-۵۶۲

بررسی کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما بر عملکرد ریزوم و مواد مؤثره گیاه زنجبیل

فائزه رضوانی نیا[۱]- محمّدتقی عبادی[۱*]- ناصر صفایی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱

چکیده

زنجبیل گیاهی دارویی و ادویه‌ای است که ریزوم، اسانس و عصاره آن مورد توجه می‌باشد. مطالعات متعددی، تأثیر مثبت تلقیح گیاهان با قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما را بر مؤلفه‌های رشد و عملکرد گزارش نموده‌اند. لذا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی بر روی گیاه زنجبیل انجام شد. فاکتورها شامل تلقیح گیاهان با قارچ‌های تریکودرما (*Trichoderma harizanum*)، مایکوریزا (*G. etunicatum* و *Glomus fasciculatum*) و تلفیق قارچ‌ها بودند. هنگام برداشت، صفات ریختی و عملکرد ریزوم ارزیابی گردید و سپس خصوصیات کیفی نظیر رنگ، میزان فیبر، درصد و اجزای اسانس ریزوم‌ها بررسی شدند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار صفت طول ساقه (۳۵/۶۸ سانتی‌متر)، وزن تر و خشک ساقه (۲۲ و ۱۰/۲ گرم)، شاخص سبزینگی (۱۸/۱۷)، وزن تر و خشک برگ (۳۴/۴۶ و ۸/۹۶ گرم)، تعداد برگ (۹/۴۶ عدد) و فیبر ریزوم (۴/۲۸ درصد) به تیمار تلقیح با مایکوریزا اتونیکیتوم تعلق داشت ولی بیشترین تعداد ساقه، شاخص تیرگی/روشنایی و شاخص رنگ زرد/آبی ریزوم در تیمار شاهد به‌ترتیب با مقادیر ۷/۱۶، ۷۳/۲۹ و ۹۸/۶ مشاهده شد. بیشترین وزن تر و خشک ریزوم (۳۵/۵ و ۵/۲ گرم) تحت تیمار مایکوریزا فاسیکولیتوم و بالاترین میزان اسانس (۰/۴ درصد) تحت تیمار تلفیق مایکوریزا اتونیکیتوم با تریکودرما مشاهده شد. کامفن، ۱و۸-سینئول، نرال و ژرانیال به‌عنوان ترکیبات اصلی اسانس شناسایی شدند و میزان آنها در تیمار تلقیح با قارچ‌ها بیشتر از شاهد بود. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار تلقیح ریزوم‌ها با قارچ مایکوریزا اتونیکیتوم سبب دستیابی به میزان مطلوب صفات رشد، عملکرد ریزوم و مواد مؤثره در گیاه زنجبیل گردید.

واژه‌های کلیدی: اسانس، کود زیستی، کیفیت. گیاه ادویه‌ای

مقدمه

گیاهان دارویی از هزاران سال گذشته به‌عنوان منبعی برای درمان بیماری‌ها استفاده می‌شوند و در حال حاضر هم به‌عنوان یک روش مراقبت اولیه، تقریباً توسط ۸۵ درصد از مردم جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Fitzgerald *et al.*, 2020). تیره زنجبیلیان (Zingiberaceae) شامل حدود ۵۲ سرده و ۱۵۸۷ گونه است که در این میان سرده زنجبیل (*Zingiber*) دارای ۱۴۴ گونه می‌باشد (Garza-Cadena *et al.*, 2023). زنجبیل (*Zingiber officinale* Roscoe.) یک گیاه دارویی و ادویه‌ای به‌صورت تک‌لپه و چندساله است که مصارف گسترده‌ای در صنایع مختلف دارد (Jabborova *et al.*, 2021) و عملکرد اسانس این گیاه در ریزوم تازه بین ۰/۵ تا ۱ و در ریزوم خشک بین ۱ الی ۳ درصد می‌باشد (Rahmani *et al.*, 2014). این گیاه یک گونه تجاری مهم بوده و از دیرباز در چین و هند به‌عنوان منبع دارو و ادویه مورد استفاده قرار گرفته است. در حال حاضر زنجبیل در بسیاری از نقاط جهان کشت شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشتر تحقیقات در مورد این گیاه، تاکنون بر روی خواص دارویی و بیوشیمی متابولیت‌های ثانویه متمرکز بوده‌اند (Liu *et al.*, 2020).

در کشاورزی، نوآوری‌های جدیدی برای افزایش عملکرد محصولات به کار گرفته می‌شوند که متأسفانه بسیاری از آن‌ها تأثیر مخربی بر محیط‌زیست می‌گذارند. بنابراین چالشی که کشاورزی نوین با آن روبه‌رو است، دستیابی به عملکرد بالا با استفاده از شیوه‌های سازگار با محیط‌زیست است (Nur & Noor, 2020). از آنجایی‌که

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mt.ebadi@modares.ac.ir)
۲- گروه بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85675.1308

استفاده بیش‌ازحد از کودها و آفت‌کش‌ها اثرات منفی بر اکوسیستم دارد، بنابراین نیاز مبرم به استفاده از تکنیک‌های سازگار با محیط زیست وجود دارد مانند استفاده از قارچ‌های همزیست گیاهان. قارچ‌هایی نظیر مایکوریزا و تریکودرما معمولاً به‌عنوان کود زیستی شناخته شده و موجب افزایش بهره‌وری محصولات می‌شوند و اعتقاد بر این است که تلقیح گیاه با این قارچ‌ها باعث افزایش تحمل گیاهان میزبان در مقابل شرایط مختلف تنش‌زا مانند گرما، شوری، خشکی، فلزات سنگین و ... می‌شود و مواد مغذی ضروری مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کند و در نتیجه منجر به بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Begum *et al.*, 2019). بر اساس پژوهش‌ها می‌توان بیان نمود که، گونه‌های قارچ تریکودرما با مکانیسم‌های خاصی موجب بهبود رشد می‌شوند که از این مکانیسم‌ها می‌توان به ترشح آنزیم برای کنترل بیماری‌های خاکزی، برطرف نمودن مسمومیت، بهبود انتقال اسیدآمینه و قند در ریشه، افزایش مقاومت در مقابل تنش‌های محیطی، بهبود جذب عناصر، تولید هورمون‌ها و شبه هورمون‌های مفید برای رشد و همچنین تولید آنزیم‌هایی که می‌توانند موجب افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا شوند اشاره نمود (Gravel *et al.*, 2007). به اعتقاد بسیاری از پژوهشگران، پراهمیت‌ترین اثر همزیستی مایکوریزا آربوسکولار، بهبود جذب عناصر معدنی به‌خصوص فسفر در گیاه می‌باشد که تأثیر مثبتی بر رشد ریشه و ریزوم ها دارد (Rejali *et al.*, 2019).

یکی از مشکلات عمده در مسیر توسعه کشت گیاه زنجبیل، حساسیت این گیاه به برخی عوامل بیماری‌زای قارچی نظیر فوزاریوم است که سبب پوسیدگی ریزوم‌ها و از بین رفتن گیاه می‌شوند. در حال حاضر، استفاده از موجودات خاکزی سودمند به‌عنوان عوامل کنترل‌کننده بیماری‌ها و همچنین کود زیستی، مطلوب‌ترین و طبیعی‌ترین راه برای رفع این‌چنین مشکلاتی در کشاورزی است. به‌کارگیری قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار و تریکودرما منجر به کاهش مصرف سموم و افزایش عملکرد کمی می‌شود و همچنین هزینه‌های تولید را کاهش داده و سازگار با اصول زیست‌محیطی می‌باشد (Hatef Heris *et al.*, 2020). هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیرات قارچ‌های تریکودرما (*Trichoderma harizanum*)، مایکوریزا (*G. etunicatum* و *Glomus fasciculatum*) و تیمار تلفیقی قارچ‌ها (اتونیکیتوم+تریکودرما، فاسیکولیتوم+تریکودرما) بر شاخصه‌های رشد، عملکرد ریزوم و مواد مؤثره گیاه زنجبیل بود.

مواد و روش‌ها

مواد آزمایشی

در این تحقیق از دو گونه قارچ مایکوریزا (*G. etunicatum* و *Glomus fasciculatum* – شرکت زیست‌فناور توران) و یک جدایه از قارچ تریکودرما (*Trichoderma harizanum* – محصول تریکوران پی، شرکت بایوران) به‌عنوان تیمار استفاده شد و گیاه بکار رفته نیز زنجبیل با منشا کشور چین بود. ریزوم‌های زنجبیل از میدان میوه و تره بار مرکزی تهران خریداری گردیدند و این پژوهش در آذرماه سال ۱۴۰۰ با کشت ریزوم‌های زنجبیل در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس شروع شد. در تیرماه ۱۴۰۱ برداشت این گیاهان صورت پذیرفت و پس از آن بررسی و ارزیابی صفات ریختی و فیتوشیمیایی در آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی و مرکزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد.

نحوه کشت و اعمال تیمارها

پس از تحریک جوانه‌زنی ریزوم‌ها در یک محیط‌کشت موقت شامل پرلیت و کوکوپیت، ریزوم‌ها از محیط‌کشت خارج شده و به قطعات حدود ۵۰ گرمی با حداقل ۳ جوانه فعال تقسیم و پس از شسته شدن با آب، با الکل ۷۰ درصد ضدعفونی شدند و در کیسه‌های رشد قرار گرفتند. محیط کشت اصلی شامل کود دامی، خاک و پرلیت (به ترتیب با نسبت ۱:۱:۲) آماده شده و داخل کیسه‌های رشد ریخته شد. در این آزمایش، ۶ تیمار (جدول ۱) با ۳ تکرار به‌صورت فاکتوریل دو عاملی بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند (عامل اصلی: مایکوریزا، عامل فرعی: تریکودرما) که جهت اطمینان از نتایج، هر تکرار شامل ۳ عدد گلدان بود. نحوه اعمال تیمارها به این صورت بود که، ۵۰ گرم از قارچ مایکوریزا روی بستر کشت پخش شده و ریزوم قطعه شده روی آن بستر قرار گرفته و با الباقی محیط‌کشت پوشانده شد. اما روش تیمار با قارچ تریکودرما متفاوت بود به این صورت‌که، ۲۰ گرم از این قارچ را داخل ۲ لیتر آب مقطر حل کرده و ریزوم‌ها را داخل آن قرار داده و پس از ۱۰ دقیقه ریزوم‌ها را خارج کرده و در کیسه‌های رشد کشت شدند و محلول باقی‌مانده هم به میزان مساوی به‌صورت آبیاری به گیاهان داده شد. گروه شاهد نیز بدون هیچ‌گونه تلقیح قارچی کشت شدند (شکل ۱). کیسه‌های رشد تا زمان برداشت در گلخانه باقی‌مانده و در طول دوره رشد، آبیاری منظم و تنظیم شرایط محیطی از نظر نور (نور طبیعی با شدت تنظیم شده توسط سایه بان به میزان ۱۰ هزار لوکس به‌مدت ۱۲ تا ۱۴ ساعت در شبانه روز)، دما (روز: ۵±۲۵ درجه سانتی‌گراد، شب: ۵±۲۰ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی (۱۰±۷۰ درصد) انجام گرفت (شکل ۲).

جدول ۱- علامت اختصاری تیمارها

Table 1- Abbreviation of the treatments

تیمار **Treatment**	علامت اختصاری **Abbreviation**
شاهد Control	Control
مایکوریزا فاسیکولیتوم *Fasciculatum*	M1
مایکوریزا اتونیکیتوم *Etunicatum*	M2
تریکودرما *Trichoderma*	T1
مایکوریزا فاسیکولیتوم+تریکودرما *Trichoderma+Fasciculatum*	M1T1
مایکوریزا اتونیکیتوم+تریکودرما *Trichoderma+Etunicatum*	M2T1



شکل ۱- کشت ریزوم‌های جوانه‌زده زنجبیل در محیط کشت اصلی

Figure 1- Cultivation of ginger rhizomes in the main culture medium



شکل ۲- وضعیت گیاهان زنجبیل در طول رشد و برداشت آن‌ها

Figure 2- Ginger plants during their growth and harvest

صفات ریختی و فیزیولوژیک

پس از حدود ۸ ماه، برداشت بوته‌ها انجام پذیرفت و تعداد ساقه‌ها، برگ‌ها و ریزوم‌های موجود در هر کیسه رشد شمارش شدند و همچنین اندازه‌گیری وزن تر و خشک ساقه‌ها، برگ‌ها و ریزوم‌ها (عملکرد ریزوم در بوته) توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک‌هزارم انجام گرفت. ارتفاع ساقه با خط‌کش و شاخص سبزینگی با استفاده از دستگاه سبزینه‌سنج مدل (502, Minolta, Japan) اندازه‌گیری شد.

صفات کیفی

رنگ ریزوم

رنگ ریزوم‌ها به‌وسیله عکس‌برداری در داخل چادر مخصوص عکاسی و آنالیز تصاویر با نرم‌افزار Color analyzer ارزیابی شد. بدین منظور، ابتدا تعدادی از ریزوم‌های هر تیمار به قطعات باریک تقسیم شده و داخل آون (دمای ۴۰ درجه به‌مدت ۴۸ ساعت) قرار داده شده و پس از خارج کردن از آون، داخل آسیاب ریخته و پودر شدند و پس از آن عکس‌برداری صورت گرفت و سپس تصاویر به‌دست آمده در نرم‌افزار آنلاین تعیین رنگ بارگذاری شده و میزان شاخص زرد/آبی (b) و شاخص روشنایی و تیرگی (L) برای آن‌ها محاسبه شد.

فیبر خام ریزوم

تعدادی از ریزوم‌های هر تیمار به قطعات باریک تقسیم گردید و داخل آون (دمای ۴۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت) قرار داده شده و پس از خارج کردن از آون، داخل آسیاب ریخته و پودر شدند، سپس با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت یک ده‌هزارم، یک گرم از ریزوم پودر شده هر تیمار جدا شده و داخل نایلون ریخته و به آزمایشگاه مرکزی منتقل شد. در ادامه ظرف‌های مخصوص دستگاه تست فیبر (Fibertec)، با ترازو دیجیتال با دقت یک ده‌هزارم، وزن شدند. پس از آن، محلول سود ۱/۲۵ درصد و همچنین محلول اسید سولفوریک ۱/۲۵درصد ساخته شد و داخل دستگاه تست فیبر قرار داده شدند. در ادامه، نمونه‌ها داخل ظروف ریخته شده و داخل دستگاه تست فیبر قرار گرفتند و به‌مدت ۳۰ دقیقه با سود ۱/۲۵ درصد در حالت جوشش بودند و پس از آن با آب مقطر شسته شده و سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه با اسیدسولفوریک ۱/۲۵ درصد جوشیدند و مجدد با آب مقطر شسته شده و پس از آن، نمونه‌ها از دستگاه خارج شده و داخل دسیکاتور قرار گرفتند تا مقداری خنک شوند و سپس به آون (دمای ۱۳۰ درجه به مدت ۲ ساعت) منتقل شدند و بعد از خارج شدن از آون مجدد داخل دسیکاتور قرار داده شده و پس از خنک شدند. وزن آن‌ها مجدد با ترازو دیجیتال با دقت یک ده‌هزارم اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها به داخل کوره منتقل شده و در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳ ساعت باقی ماندند. و در آخر، پس از خروج از کوره داخل دسیکاتور خنک شده و وزن آن‌ها با ترازو دیجیتال با دقت یک ده‌هزارم، اندازه‌گیری شد و سنجش میزان فیبر با استفاده از فرمول (۱) انجام گرفت.

(۱)

$$\text{درصد فیبر خام} = \frac{\text{وزن نمونه بعد از آون} - \text{وزن نمونه بعد از کوره}}{\text{وزن اولیه نمونه}} \times ۱۰۰$$

درصد و عملکرد اسانس

برای سنجش درصد وزنی وزنی اسانس، ابتدا ریزوم‌های تازه را به قطعات کوچک برش داده و با ترازو دیجیتال با دقت یک‌هزارم، ۱۰۰ گرم از آن وزن شده و به همراه ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر داخل بالن‌ها ریخته و به روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر (حرارت دهی به‌مدت ۳ ساعت) اسانس آن‌ها استخراج شد. پس از رطوبت‌زدایی آن‌ها، اسانس خالص به‌دست آمده وزن شد و در نهایت درصد وزنی وزنی اسانس‌ها محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری عملکرد اسانس، درصد اسانس هر تیمار در عملکرد وزن خشک آن تیمار ضرب گردید و عملکرد بر حسب گرم در گلدان گزارش شد.

اجزای اسانس

دستگاه کروماتوگراف گازی مدل 7890B ساخت شرکت Agilent و مجهز به آشکارساز FID بود. طول ستون HP-5، ۳۰ متر و قطر داخلی ستون ۰/۳۲ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر بوده و برنامه‌ریزی حرارتی از ۶۰ تا ۲۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد با سرعت افزایش ۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در دقیقه صورت گرفت. دمای قسمت تزریق برابر ۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و دمای آشکارساز برابر ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردیده بود. گاز حامل هلیم با سرعت جریان ۱/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه به‌عنوان فاز متحرک مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه کروماتوگراف گازی مدل TRACE MS ساخت شرکت Termoquest-Finnigan متصل شده به دستگاه طیف‌سنج جرمی Quadrupole و ستون HP-5MS با طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر بود. انرژی یونیزاسیون معادل ۷۰ الکترون ولت بود. برنامه‌ریزی حرارتی و نوع و سرعت گاز حامل و دمای محفظه تزریق، مانند دستگاه GC تنظیم گردید. شناسایی ترکیبات اسانس با مقایسه طیف جرمی هر پیک با ترکیبات استاندارد در کتابخانه دستگاه (Adams، Wiley و Main library) و همچنین محاسبه شاخص بازداری و مطابقت هر ترکیب با منابع از طریق تزریق هیدروکربن‌های نرمال (C8-C24) تحت شرایط یکسان به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

جهت تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS و همچنین برای رسم نمودارهای مربوطه نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد و میانگین-ها به‌وسیله آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج

صفات مربوط به ساقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر قارچ مایکوریزا و تریکودرما و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر طول ساقه گیاه زنجبیل معنی‌دار نبود. همچنین تأثیر قارچ مایکوریزا و تریکودرما بر روی تعداد ساقه نیز معنی‌دار نبود اما اثر متقابل قارچ‌ها بر روی تعداد ساقه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. علاوه بر این تأثیر قارچ مایکوریزا بر روی وزن تر و خشک ساقه معنی‌دار نبود ولی اثر متقابل قارچ‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر قارچ تریکودرما بر وزن تر و خشک ساقه نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که، در تیمار M2T0 بیشترین طول ساقه (۳۵/۶۸ سانتی‌متر) مشاهده شد که با تیمار شاهد (۲۷/۵۳ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین طول ساقه در تیمار M2T1 به میزان ۲۰/۷۶ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. بیشترین تعداد ساقه تحت تیمار M2T0 (۷/۰۸) مشاهده شد که با تیمار شاهد (۷/۱۶) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین تعداد ساقه در تیمار M2T1 (۴/۶۶) مشاهده شد. همچنین، بالاترین وزن تر ساقه متعلق به تیمار M2T0 (۲۲ گرم) بود که با تیمار شاهد (۲۱/۳۳ گرم) اختلاف معنی‌داری نشان نداد و کمترین وزن تر ساقه مربوط به تیمار M1T1 (۱۶/۳۳ گرم) بود. بیشترین وزن خشک ساقه نیز در تیمار M2T0 (۱۰/۲ گرم) مشاهده شد که با تیمار شاهد (۹/۶۷ گرم) اختلاف معنی‌داری نشان نداد و کمترین وزن خشک ساقه مربوط به تیمار M1T1 (۶/۷۵ گرم) بود (جدول ۲).

صفات مرتبط با برگ

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که، اثر قارچ مایکوریزا و تریکودرما بر روی شاخص سبزینگی معنی‌دار نبود اما اثر متقابل قارچ‌ها در این صفت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر مایکوریزا بر تعداد برگ معنی‌دار نبود ولی اثر تریکودرما و اثر متقابل قارچ‌ها در این صفت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین تأثیر قارچ مایکوریزا و اثر متقابل قارچ‌ها بر روی وزن تر و وزن خشک برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود اما تأثیر تریکودرما بر وزن تر و خشک برگ معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که، تیمار M2T0 بالاترین شاخص سبزینگی (۱۸/۱۷) را داشت که با میزان شاخص سبزینگی در تیمار شاهد (۱۵/۷) دارای اختلاف معنی‌داری نبود و کمترین میزان این صفت در تیمار M1T1 برابر با ۱۱/۰۷ بود. بیشترین تعداد برگ در تیمار با M2T0 به میزان ۸/۹۶ مشاهده شد که با تیمار شاهد (۸/۴۲)، اختلاف معنی‌داری نداشت و تیمار M2T1 (۵/۹)، دارای کمترین تعداد برگ بود. تیمار M2T0 بالاترین وزن تر برگ به میزان ۳۴/۴۶ گرم را سبب گردید که با تیمار شاهد (۲۸/۵۳ گرم)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نداشت و کمترین میزان این صفت در تیمار M2T1 به میزان ۲۴ گرم بود. علاوه بر این، تیمار M2T0 بالاترین وزن خشک برگ (۹/۴۶ گرم) را حاصل نمود که با تیمار شاهد (۷/۳۳ گرم)، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نداشت و کمترین میزان این صفت در تیمار M2T1 به میزان ۵/۲ گرم مشاهده شد (جدول ۳).

صفات مرتبط با ریزوم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که، اثر قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما بر وزن تر و خشک ریزوم معنی‌دار نبود اما اثر متقابل قارچ‌ها در این صفات تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد داشت. اثر مستقیم و متقابل قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما در سطح احتمال ۵ درصد بر روی رنگ ریزوم معنی‌دار بود. علاوه بر این، تأثیر قارچ مایکوریزا بر فیبر ریزوم معنی‌دار نبود اما اثر مستقیم تریکودرما و اثر متقابل قارچ‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بودند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثر نوع قارچ می‌توان بیان نمود که، تیمار M1T0 با ۳۵/۵ گرم، بالاترین وزن تر را ایجاد نمود که با تیمار شاهد (۳۱/۰۳ گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین وزن تازه به مربوط به M2T1 با ۱۶ گرم بود. تیمار M1T0با ۵/۲ گرم بالاترین وزن خشک ریزوم را ایجاد نمود که با تیمار شاهد (۴/۸۵ گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین وزن خشک ریزوم نیز به مربوط به M1T1 با ۲/۷۷ گرم بود. بیشترین میزان شاخص L (شاخص تاریکی/روشنایی: بین ۰ تا ۱۰۰ است و مقادیر بالاتر به مفهوم رنگ روشن‌تر ریزوم هستند) مربوط به تیمار M2T0 و برابر با ۷۱/۴۸ بود که با تیمار شاهد (۷۳/۲۹) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد داشت و کمترین مقدار در این صفت مربوط به تیمار M0T1 با مقدار ۵۱/۸۹ بود. بیشترین میزان شاخص b (شاخص زرد/آبی: مقادیر مثبت و بالاتر به مفهوم تمایل بیشتر به رنگ زرد است) مربوط به تیمار M2T0 و برابر با ۹۳/۴ بود که با تیمار شاهد (۹۸/۶) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد داشت و کمترین مقدار در این صفت مربوط به تیمار M0T1 (۶۰/۲) بود. علاوه بر این، تیمار M2T0 با ۴/۲۸ گرم بالاترین میزان فیبر

خام را داشت که با تیمار شاهد (۴/۲۲ گرم) اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. کمترین میزان فیبر خام مربوط به تیمار M2T1 با مقدار ۴ گرم بود (جدول ۴).

درصد و عملکرد اسانس

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر مستقیم قارچ مایکوریزا و تریکودرما و اثر متقابل قارچ‌ها بر روی درصد وزنی وزنی اسانس در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بالاترین درصد اسانس مربوط به تیمار M2T1 با ۰/۴۲۵ درصد بود که با تیمار شاهد (۰/۱۳۵ درصد) اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد داشت همچنین کمترین درصد اسانس مربوط به تیمار M1T0 با ۰/۰۹۴ درصد بود. بیشترین عملکرد اسانس (۰/۰۷ گرم در گلدان) در تیمار تلقیح با T1 حاصل شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با تیمار با M2T1 بود و کمترین میزان در تیمار M1 مشاهده شد که با تیمار شاهد و M1T1 اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

جدول ۲- اثر کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما بر صفات مربوط به ساقه زنجبیل

Table 2- The effect of Mycorrhiza and Trichoderma fungi on ginger stem traits

تیمارها Treatments	وزن تر ساقه Stem fresh weight (g)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g)	تعداد ساقه Number of stems	طول ساقه Stem length (cm)
Control	21.33 ab	9.67 ab	7.16 a	27.53 ab
M1	20.66 ab	9 ab	6.33 a	32.27 ab
M2	22 a	10.2 a	7.08 a	35.68 a
T1	17.33 ab	8.9 ab	6.66 a	31.27 ab
M1T1	16.33 b	6.75b	4.93 a	28.91 ab
M2T1	16.66 b	6.98 b	4.66 a	20.76 b

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر مبنای آزمون LSD می‌باشد.

Similar letters indicate the absence of a significant difference at the 5% of probability level based on the LSD test.

جدول ۳- اثر کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما بر صفات مرتبط با برگ زنجبیل

Table 3- The effect of Mycorrhiza and Trichoderma fungi on ginger leaf traits

تیمارها Treatments	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	وزن تر برگ Leaf fresh weight (g)	تعداد برگ Number of leaf	شاخص سبزینگی Greenness index
Control	7.33 ab	28.53 ab	8.42 a	15.7 ab
M1	5.9 b	26 b	8.33 a	17.10 ab
M2	9.46 a	34.46 a	8.96 a	18.17 a
T1	7.4 ab	28 ab	7.86 ab	16 ab
M1T1	5.33 c	24.15 c	6.13 b	11.07 b
M2T1	5.2 c	24 c	5.9 b	12.29 b

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر مبنای آزمون LSD می‌باشد.

Similar letters indicate the absence of a significant difference at the 5% of probability level based on the LSD test.

جدول ٤- اثر کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما بر صفات مربوط به ریزوم زنجبیل

Table 4- The effect of Mycorrhiza and Trichoderma fungi on ginger rhizome traits

تیمارها Treatments	وزن خشک ریزوم Rhizome dry weight (g)	وزن تر ریزوم Rhizome fresh weight (g)	شاخص تیرگی/روشنایی Darkness/Lightnees index	شاخص زرد/آبی Yellow/Blue index	فیبر خام ریزوم Rhizome crude fiber (%)
Control	4.85 a	31.03 a	73.29 a	98.6 a	4.22 a
M1	5.2 a	35.5 a	68.18 ab	85 ab	4.17 a
M2	4.65 a	32.82 a	71.48 ab	93.4 ab	4.28 a
T1	5.04 a	35.13 a	51.89 d	60.2 d	4.12 a
M1T1	2.77 b	17.03 b	67.03 b	77.5 b	4.19 a
M2T1	2.95 b	16 b	59.3 c	66.4 c	4 a

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر مبنای آزمون LSD می‌باشد.

Similar letters indicate the absence of a significant difference at the 5% of probability level based on the LSD test.

جدول ۵- اثر کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما بر صفات مربوط به اسانس زنجبیل

Table 5- The effect of Mycorrhiza and Trichoderma fungi on ginger essential oil traits

تیمارها **Treatments**	درصد اسانس **Essential oil percentage**	عملکرد اسانس **Essential oil yield**
Control	0.135 e	0.04 c
M1	0.094 f	0.03 c
M2	0.153 d	0.05 b
T1	0.198 c	0.07 a
M1T1	0.233 b	0.04 c
M2T1	0.425 a	0.06 ab

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر مبنای آزمون LSD می‌باشد.

Similar letters indicate the absence of a significant difference at the 5% of probability level based on the LSD test.

ترکیبات اسانس

تجزیه اسانس زنجبیل منجر به شناسایی ۲۴ ترکیب شد. از ترکیبات عمده شناسایی‌شده در اسانس زنجبیل می‌توان به کامفن، ۱و۸-سینئول، نرال و ژرانیال اشاره نمود. این ترکیبات در تمامی تیمارهای اعمال شده شناسایی شدند و کامفن بیشترین درصد را در تمامی تیمارهای موردنظر داشت. بیشترین مقدار کامفن (۲۱/۲۵ درصد) در تیمار تلفیق مایکوریزا فاسیکولیتوم با تریکودرما مشاهده شد و بیشترین مقدار ۱و۸-سینئول (۱۱/۷۶ درصد) و نرال (۱۰/۵۱ درصد) متعلق به تیمار مایکوریزا فاسیکولیتوم بود. علاوه بر این، بیشترین مقدار ژرانیال (۱۲/۱۲ درصد) در تیمار تلفیق مایکوریزا فاسیکولیتوم با تریکودرما اندازه‌گیری شد که درصد این ترکیبات در تیمار شاهد به‌ترتیب برابر با ۱۹/۶۴، ۸/۱۰، ۶/۰۲ و ۹/۳۱ درصد بود. شایان ذکر است که، درصد مجموع ترکیب‌های شناسایی‌شده در تیمارهای مذکور از ۸۴/۶ تا ۹۱/۹ درصد متغیر بود.

درصد فراوانی صفات مطلوب

درصد فراوانی صفات مطلوب (فراوانی بیشترین مقدار صفت مورد نظر یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار با بیشترین مقدار) ابزاری برای جمع‌بندی نتایج در یک مطالعه تجربی می‌باشد. این مؤلفه در تیمارهای اعمال شده از ۲۱/۴۲ تا ۹۲/۸۵ درصد متغیر بود که بیشترین میزان آن مربوط به تیمار مایکوریزا اتونیکیتوم و شاهد و کمترین مقدار آن، مربوط به تیمارهای تلفیقی بود (جدول ۶).

بحث

در مطالعات مختلفی به تأثیر مثبت کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما در رشد و عملکرد محصولات کشاورزی، مخصوصاً گیاهان دارویی و ادویه‌ای اشاره شده است. به‌طور مثال، نتایج گزارشی نشان داد که تلقیح گیاهچه های شوید با قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما سبب بهبود شاخصه‌های رشد و عملکرد کمی گردید (Hatef Heris *et al.*, 2020). آزمایشی جهت تحلیل تأثیرات قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار بر رشد زنجبیل در گلخانه انجام گرفت که در این تحقیق، گیاهچه‌های زنجبیل با ۱۲ گونه مختلف از قارچ مایکوریزا تیمار شدند. نتایج نشان داد که گیاهچه‌های زنجبیل تیمار شده با مایکوریزا نسبت به شاهد، رشد بهتری داشتند (Qian *et al.*, 2019). همزیستی ریشه با قارچ مایکوریزا موجب بهبود جذب آب و عناصر غذایی، بهبود فتوسنتز و به دنبال آن، بهبود صفات رشدی مانند ارتفاع و همچنین تولید فراورده‌های بیشتر می‌شود (Khalvati *et al.*, 2005). علاوه بر این، استفاده از قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما می‌تواند موجب بهبود قدرت سازگاری و رقابتی گیاه، از طریق مسیرهای بیوشیمیایی دخیل در تولید هورمون‌های رشد یا به‌وسیله افزایش جذب عناصر غذایی شود (Zhang *et al.*, 2006). اما نتایج پژوهش حاضر نشان داد که صفات شاخصه‌های رشد (ساقه، برگ و ریزوم) تحت تیمارهای اعمال شده، اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشتند. و در نتیجه می‌توان بیان نمود که، تیمارهای تلقیح با قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما احتمالاً به‌دلیل شرایط محیط‌کشت، اقلیم و نوع ژنوتیپ زنجبیل موجب افزایش معنی‌داری در میزان این صفات نسبت به تیمار شاهد نشده‌اند.

جدول ٦- درصد فراوانی صفات مطلوب در تیمارهای قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما اعمال شده

Table 6- Frequency percentage of desired traits in applied Mycorrhiza and Trichoderma fungi treatments

	Control	M1	M2	T1	M1T1	M2T1
طول ساقه Stem length (cm)	▒	▒	■	▒	▒	
تعداد ساقه Number of stems	■	▒	▒	▒	▒	▒
وزن تر ساقه Stem fresh weight (g)	▒	▒	■	▒		
وزن خشک ساقه Stem dry weight (g)	▒	▒	■	▒		
شاخص سبزینگی Greenness index	▒	▒	■	▒		
تعداد برگ Number of leaf	▒	▒	■	▒		
وزن تر برگ Leaf fresh weight (g)	▒		■	▒		
وزن خشک برگ Leaf dry weight (g)	▒		■	▒		
وزن تر ریزوم Rhizome fresh weight (g)	▒	■	▒	▒		
وزن خشک ریزوم Rhizome dry weight (g)	▒	■	▒	▒		
شاخص تیرگی/ روشنایی Darkness/Lightnees index	■	▒	▒			
شاخص زرد/آبی Yellow/Blue index	■	▒	▒			
فیبر خام ریزوم Rhizome crude fiber (%)	▒	▒	■	▒	▒	▒
درصد اسانس Essential oil percentage						■
عملکرد اسانس Essential oil yield			▒	■		▒
درصد فراوانی صفات مطلوب Frequency percentage of desired traits	92.85	78.57	92.85	78.57	21.42	21.42

خانه‌های سیاه رنگ بیانگر بیشترین مقدار صفت مورد نظر، خانه‌های خاکستری رنگ نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار با بیشترین مقدار هر صفت و خانه‌های سفید بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار با بیشترین مقدار هر صفت می‌باشند.

Black cells:the highest value of the attribute, gray cells : the absence of significant difference with the highest value of each attribute, and white cells : the presence of significant difference with the highest value of each attribute.

ریزوم زنجبیل به رنگ زرد متمایل به سفید معروف است. در مطالعه‌ای، ۶۲ نوع ریزوم زنجبیل که از ارقام و توده‌های مختلف بودند، برای تجزیه و تحلیل ترکیبات رنگ‌دانه زرد به کار گرفته شدند. نتایج نشان داد که کورکومین، دمتوکسی کورکومین و ۶-دهیدروژن گردیون ترکیبات اصلی ایجادکننده رنگ زرد در این گیاه هستند. همچنین طبق این پژوهش می‌توان بیان نمود که، رنگ‌دانه‌های زرد ریزوم زنجبیل، بیشتر تحت تأثیر شرایط کشت و به میزان کمتر تحت تأثیر نوع رقم می‌باشند. همچنین محتوای این ترکیبات در ریزوم‌های بالغ بیشتر از ریزوم‌های نابالغ بود. بر اساس این نتایج می‌توان بیان نمود که، تراکم این ترکیبات تحت تأثیر شرایط کشت، مرحله بلوغ ریزوم و نوع رقم می‌باشد (Iijima & Joh, 2014). در پژوهش حاضر نیز میزان رنگ ریزوم در مرحله بلوغ افزایش یافت و بنابراین با نتایج پژوهش ذکر شده مطابقت داشت. علاوه بر این، تیمارهای فاسیکولیتوم و اتونیکیتوم اختلاف معنی‌داری را از نظر شاخص تیرگی/روشنایی و شاخص زرد/آبی نسبت به تیمار شاهد ایجاد نکردند ولی سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری مقادیر کمتر نسبت به تیمار شاهد را نشان دادند. میزان فیبر در ریزوم زنجبیل تازه حدود ۲/۴ درصد و در ریزوم زنجبیل پودر شده بین ۳ الی ۸ درصد است (Bardlin et al., 2008). نتایج حاصل از بررسی درصد فیبر خام در تحقیق حاضر با پژوهش ذکر شده مطابقت داشت و علاوه بر این، تیمارهای اعمال شده، اختلاف معنی‌داری را با شرایط شاهد نشان ندادند.

در تحقیق حاضر، درصد اسانس تحت تیمار تلفیق مایکوریزا اتونیکیتوم با تریکودرما، افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد نشان داد که با نتایج سایر محققین در خصوص گیاهان اسانس دار مطابقت داشت. به‌طور مثال، استفاده از دو گونه قارچ مایکوریزا بر روی گیاه رازیانه موجب افزایش اسانس به مقدار ۷۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (Kapoor et al., 2002). همچنین نتایج پژوهشی بر روی گیاه زنیان هم نشان‌دهنده تأثیرات سودمند استفاده از قارچ میکوریزا بر روی مقدار اسانس این گیاهان بوده است (Ghilavizadeh et al., 2013). افزایش درصد اسانس با استفاده از تلقیح گیاهان با برخی قارچ‌ها می‌تواند به‌دلیل گسترش سیستم ریشه، موجب بهبود جذب عناصر غذایی بخصوص عناصر کم‌مصرف که تأثیر شگرفی بر بیوسنتز ترکیبات ترپنی در گیاهان دارند، باشد (Del Rosario Cappellari et al., 2013). همچنین تأثیر قارچ‌های همزیست با ریشه گیاهان در تولید هورمون‌های محرک رشد در گیاهان می‌تواند در بیوسنتز مواد مؤثره در گیاهان دارویی و ادویه‌ای مؤثر باشد (Abou El-Yazeid et al., 2007; Banchio et al., 2008). در خصوص اجزای اسانس، در تعداد زیادی از مطالعات پیشین نتایج مثبتی در مورد افزایش اجزای اصلی اسانس در اثر کاربرد قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما مشاهده شده است (Arpanahi et al., 2020; Akachoud et al., 2022; Kapoor et al., 2002) که در این تحقیق نیز نتایج مشابهی حاصل شد و اجزای اصلی اسانس زنجبیل (کامفن، ۱و۸-سینئول، نرال و ژرانیال) در اکثر تیمارهای موردمطالعه دارای مقادیر بالاتری نسبت به تیمار شاهد بودند. البته باید اشاره نمود که در بسیاری از آزمایشات، مهمترین اجزای اسانس زنجبیل آلفا-زینجیبرن، بتا-سسکوئی فلاندرن، کورکیومن، آلفا-فارنزن و بتا بیسابلن گزارش شده است ولی در این تحقیق به‌دلیل استفاده از روش تقطیر با آب و کوتاه‌تر بودن روش اسانس‌گیری، این ترکیبات با مقادیر کمتر از ۵ درصد مشاهده شدند (Garza-Cadena et al., 2023).

نتیجه‌گیری

زنجبیل در سال‌های اخیر مهم‌ترین و پرفروش‌ترین ادویه در بازار تجارت جهانی بوده است و لذا انجام پژوهش‌های کاربردی در خصوص مباحث به زراعی آن جهت توصیه به کشاورزان ایرانی جهت تولید در مناطق دارای اقلیم گرمسیری ضرورت ویژه‌ای دارد. استفاده از قارچ‌های همزیست جهت افزایش مقاومت به عوامل بیماری‌زا و بهبود رشد و نمو گیاهان، موضوعی مهم در تولید پایدار گیاهان دارویی و ادویه‌ای است. در این پژوهش که با هدف بررسی اثرات قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما و تلفیق آن‌ها بر روی خصوصیات رشد، عملکرد ریزوم و مواد مؤثره گیاه زنجبیل انجام گرفت، نتایج نشان داد که، تیمار با مایکوریزا (مخصوصا گونه اتونیکیتوم) می‌تواند تأثیر مثبتی بر عملکرد کمی و کیفی این محصول ارزشمند ادویه‌ای داشته باشد.

References

1. Abou El-Yazeid, A., Abou-Aly, H.E., Mady, M.A., & Moussa, S.A.M. (2007). Enhancing growth, productivity and quality of squash plants using phosphate dissolving microorganisms (Biophos-phor®) combined with boron foliar spray. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *3*(4), 274-286.
2. Akachoud, O., Bouamama, H., Facon, N., Laruelle, F., Zoubi, B., Benkebboura, A., & Lounès-Hadj Sahraoui, A. (2022). Mycorrhizal inoculation improves the quality and productivity of essential oil distilled from three aromatic and medicinal plants: *Thymus satureioides*, *Thymus pallidus*, and *Lavandula dentata*. *Agronomy*, *12*(9), 2223. https://doi.org/10.3390/agronomy12092223

3. Arpanahi, A.A., Feizian, M., Mehdipourian, G., & Khojasteh, D.N. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, *100*, 103217. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217
4. Banchio, E., Bogino, P.C., Zygadlo, J., & Giordano, W. (2008). Plant growth promoting rhizobacteria improve growth and essential oil yield in *Origanum majorana* L. *Biochemical Systematics and Ecology*, *36*(10), 766-771. https://doi.org/10.1016%2Fj.bse.2008.08.006
5. Bardlin, H.A., Blunden, G., Tanira, MO., & Nemmar, A. (2008). Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinal* Roscoe): A review of recent research. *Food and Chemical Toxicology*, *46*, 409-420. https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.085
6. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Ishfaq, Khan, M., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of Arbuscular Mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science Journal*, *10*, 1068. https://doi.org/10.3389%2Ffpls.2019.01068
7. Del Rosario Cappellari, L., Santoro, M.V., Nievas, F., Giordano, W., & Banchio, E. (2013). Increase of secondary metabolite content in marigold by inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria. *Applied Soil Ecology*, *70*, 16-22. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.04.001
8. Fitzgerald, M., Heinrich, M., & Booker, A. (2020). Medicinal plant analysis: A historical and regional of emergent complex techniques. *Frontiers in Pharmacology*, *10*, 1480. https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01480
9. Garza-Cadena, C., Ortega-Rivera, D.M., Machorro-García, G., Gonzalez-Zermeño, E.M., Homma-Dueñas, D., Plata-Gryl, M., & Castro-Muñoz, R. (2023). A comprehensive review on Ginger (*Zingiber officinale*) as a potential source of nutraceuticals for food formulations: Towards the polishing of gingerol and other present biomolecules. *Food Chemistry*, 135629. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135629
10. Ghilavizadeh, A., Darzi, M.T., & Haj Seyed Hadi, M. (2013). Effects of biofertilizer and plant density on essntial oil content and yield traits of Ajowan (*Carum copticum*). *Middle-East Journal of Scientific Research*, *14*(11), 1508-1512.
11. Gravel, V., Antoun, H., & Tweddell, R.J. (2007). Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biology and Biochemistry*, *39*, 1968–1977. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.015
12. Hatef Heris, H., Zehtab Salmasi, S., & Arzanlou, M. (2020). Effect of some Trichoderma and Mycorrhizal fungai species on growth properties and grain yield of dill (*Anethum graveolens* L.) under greenhouse conditions, *Agricultural Knowledge and Sustainable Production Journal*, *30*(1), 191-209. (In Persian with English abstract)
13. Iijima, Y., & Joh, A. (2014). Pigment composition responsible for the Pale yellow color of ginger (*Zingiber officinale*) rhizomes. *Food Science and Technology Research*, *20*(5), 971-978. https://doi.org/10.3136/fstr.20.971
14. Jabborova, D., Enakiev, Y., Sulaymanov, K., Kadirova, D., Ali, A., & Annapurna, K. (2021). Plant growth promoting bacteria *Bacillus subtilis* promote growth and physiological parameters of *Zingiber officinale* Roscoe. *Horizon e-Publishing Group*, *8*(1), 66–71.
15. Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K.G. (2002). *Glomus macrocarpum*: a potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in Dill (*Anethum graveolens* L.) and Carum (*Trachyspermum ammi* (Linn.) Sprague). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *18*, 459-463. https://doi.org/10.1023/A:1015522100497
16. Khalvati, M.A., Mzafar, A., & Schmidhalter, U. (2005). Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hypha and its signification for leaf growth, water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart*, *7*(6), 706-712. https://doi.org/10.1055/s-2005-872893
17. Liu, H., Specht, CH.D., Tong, Z., & Liao, J. (2020). Morphological anatomy of leaf and rhizome in *Zingiber officinale* Roscoe, with emphasis on secretory structures. *Ashs Journals*, *55*(2), 1-4. https://doi.org/10.21273/HORTSCI14555-19
18. Nur, A.Z., & Noor, A.B. (2020). Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, *65*, 168-178. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003
19. Qian, W., Bao, H., Zhang, J., Song, J., Liu, Z., Huang, J., & Chen, T. (2019). Effects of different arbuscular Mycorrhizal fungi species on the growth of ginger. *Chinese Journal of Tropical Crops*, *40*(7), 1272-1277.
20. Rahmani, A.H., Alshabrmi, F.M., & Aly, S.M. (2014). Active ingredients of ginger as potential candidates in the prevention and treatment of diseases via modulation of biological activities. *International Journal of Physiology, Pathophysiology and Pharmacology*, *6*(2), 125-136.
21. Rejali, F., Esmaeilizad, A., & Saghafi, K. (2019). Effect of symbiosis interaction of Mycorrhizae arbuscular on mineral uptake in wheat (*Pishtaz cultivar*), *Iranian Journal of Field Crop Science*, *49*(4), 51-65. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068
22. Zhang, H.W., Song, Y.C., & Tan, R.X. (2006). Biology and chemistry of endophytes. *Natural Product Reports*, *23*, 753-77. https://doi.org/10.1039/B609472B